

EDN: SNCHSS

УДК 625.068.2 : 625.731.03

И. В. ШИЛИН^а, А. В. ХИМЧЕНКО^б^а Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», Горловка;^б ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра 1», Воронеж

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТА ВОДНОЙ СМЕСЬЮ КОНЦЕНТРАТА PERMA-ZYME ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. Определен оптимальный состав грунтовой смеси водным раствором фермента Perma-Zyme с обеспечением нормативных требований для выполнения ремонтно-восстановительных работ на автомобильных дорогах в региональных условиях Донецкой Народной Республики. Установлено, что в течение 72 часов происходит стабилизация модифицированного грунта в плотный композиционный материал, который эффективно противостоит износу и водопроницаемости. Рассмотрены основные сведения о стабилизации (укреплению) грунтов в дорожном строительстве. Приведены основные преимущества технологии стабилизации грунта водным раствором фермента Perma-Zyme. Приведены основные требования к решению поставленной задачи. Приведены результаты лабораторных исследований образцов грунта и выполнен анализ. Приведен расчет состава и выбрана технология обработки грунта водным раствором фермента Perma-Zyme. Приведены лабораторные исследования сформованных образцов грунта, обработанных водным раствором фермента Perma-Zyme. Выполнен анализ результатов и сформулированы выводы по проведенному исследованию.

Ключевые слова: грунт, фермент Perma-Zyme, дорожное покрытие, стабилизатор, автомобильные дороги с низкой интенсивностью движения.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Разработкой и совершенствованием технологии глубинной стабилизации (укрепления) грунта в дорожном строительстве занимаются достаточно давно. На сегодняшний момент на рынке СНГ представлено большое разнообразие материалов для стабилизации грунтов в различных условиях эксплуатации. Данные технологии нашли широкое применение при строительстве (реконструкции) дорог общего пользования с низкой интенсивностью движения. Некоторые такие технологии нашли свое применение и в области строительства промышленных (технологических) дорог. Различия в климатических условиях расположения дорог и особенности грунтово-геологического строения толщ пород обуславливает различия в технологии строительства, а значит актуальность проблемы не теряет своей значимости.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Основной целью является определение оптимального состава грунтовой смеси со стабилизатором с обеспечением нормативных требований для выполнения ремонтно-восстановительных работ на автомобильных дорогах в региональных условиях.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В соответствии с нормативной классификацией грунты, которые обрабатываются стабилизаторами или пластифицирующими добавками, подразделяют на следующие типы [3]:

- стабилизированные;
- комплексно стабилизированные;
- комплексно укрепленные.

© И. В. Шилин, А. В. Химченко, 2023



К стабилизированным грунтам относят грунты, которые получают по технологии перемешивания при оптимальной влажности с малыми дозами стабилизаторов – активных добавок не относящиеся к вяжущим материалам. К комплексно стабилизированным относят грунты, обработанные стабилизаторами с использованием до 2 % вяжущих (органических или минеральных) материалов. К комплексно укрепленным грунтам относят комплексно стабилизированные грунты с содержанием вяжущих более 2 % [1, 3].

В качестве основных критериев для исследования были приняты:

- использование местных (региональных) грунтов;
- минимальная трудоемкость процесса строительства;
- отсутствие потребности в специализированных дорожно-строительных машинах;
- минимальная стоимость строительства дорог.

С учетом применения акцент фокусировался на строительство покрытий на автомобильных дорогах общего пользования с низкой интенсивностью движения или на строительство конструктивных слоев дорожной одежды на дорогах высоких технических категорий.

При содействии ООО «НСТ-Юг» г. Краснодар нами был получен концентрат фермента Перма-Зуме производства США [3]. Данный фермент производителем позиционируется как стабилизатор грунта, который имеет ряд значительных преимуществ:

- относительная простота разработки технологии – проектирование состава грунтовой смеси с водным раствором фермента Перма-Зуме заключается в расчете оптимального соотношения компонентов, в результате которого показатели основных характеристик смеси грунта с водным раствором Перма-Зуме будут отвечать техническим нормам и требованиям;

- относительно высокая скорость структурообразования слоя – когда фермент смешивают с водой и вносят в грунт до уплотнения, он воздействует на мелкодисперсные неорганические примеси, содержащиеся в грунте, в итоге происходит каталитический связующий процесс, вызывая сильное цементирующее действие в процессе последующего уплотнения. В отличие от материалов на неорганической или нефтяной основе, которые временно связывают компоненты грунта вместе, фермент Перма-Зуме заставляет грунт «спекаться» в процессе сжатия (уплотнения) в плотную долговременную основу устойчивую к проникновению воды и износу. При нормальных летних условиях этот процесс продолжается 72 часа;

- широкий спектр области применения – помимо того, что фермент создает новые и лучшие условия для строительства дорог и поддержания их в рабочем состоянии, он успешно используется в сооружении основы дна озер, водоёмов, креплений шахтных стволов, а именно везде, где требуется увеличение «несущей» способности грунта и уменьшение пластичности и проницаемости;

- экономия в материальных ресурсах – за счет снижения поверхностного натяжения воды способствует быстрому и равномерному проникновению и впитыванию влаги грунтом. Благодаря этому свойству насыщенные влагой частицы глины вдавливаются в пустоты грунта и полностью заполняют их, при этом формируют плотную и прочную основу. Благодаря повышенной смазывающей способности частиц грунта необходимая плотность грунта достигается меньшим усилием сжатия. При этом уменьшается на 25 % количество воды, требуемое для достижения оптимального уровня влажности грунта, поскольку он способствует быстрому насыщению и препятствует поверхностному испарению;

- увеличение несущей способности материала – цементирующее действие фермента Перма-Зуме повышает «несущие» характеристики грунта, способствуя более тесному связыванию частиц грунта. Из-за этого свойства снижается тенденция грунта к расширению после сжатия и в результате возникает плотный, стабильный земляной слой. При достижении большей связующей плотности компоненты грунта сопротивляются проникновению воды;

- полная механизация процесса – высокий уровень механизации для проведения всех операций, гарантия упрочнения грунта до заданных параметров согласно проектам, небольшая трудоемкость, сокращение ручного труда, минимальная стоимость работ и простота использования;

- отсутствие специальных требований к хранению и подготовке к использованию – Фермент Перма-Зуме поставляется в виде жидкого концентрата. Это делает ненужным его хранения в больших объемах, предварительное смешивание и обработку больших объемов материалов. Он не приводит к коррозии оборудования, также он не токсичен и не требует специальных процедур по хранению, как это требуется для токсичных или коррозионных агентов.

Особенно следует отметить уже довольно длительный период использования данного фермента в мировой практике дорожного строительства. Разработчик обращает внимание на то, что технология стабилизации грунтов с использованием фермента Перма-Зуме рекомендуется к применению

для грунтов, укладываемых в рабочем слое земляного полотна, так как наиболее интенсивно процессы водно-теплового режима (ВТР) и влагопереноса затрагивают верхнюю часть земляного полотна дорожной конструкции. При этом стабилизация грунтов рабочего слоя не только благоприятно влияет на ВТР, но и дает возможность использовать местные глинистые грунты, которые были не пригодны для этих целей. Это становится возможным за счет улучшения их воднофизических характеристик по водопроницаемости, пучинистости, набухаемости и размокаемости до требуемых величин. Основная функция этой технологии – гидрофобизация грунтов (несмачиваемость грунта, а именно метод улучшения физико-механических свойств грунта введением веществ, делающих грунт устойчивым к воздействию воды) в рабочем слое или нижних слоях оснований дорожных одежд [1]. Есть данные по применению данного фермента в России, Белорусии и Украине. Но данное применение фермента позиционировалось как экспериментальное. Особо следует отметить, что, кроме положительных отзывов об эксплуатации построенных участков, никаких технических параметров, а тем более результатов лабораторных испытаний в свободном доступе нами не обнаружено.

Таким образом был составлен план исследования, который включал следующие этапы:

- выбор грунта;
- определение физико-механических свойств грунта в соответствии с требованиями производителя;
- определение соответствия полученных материалов требованиям действующих в Российской Федерации нормативных документов.

В качестве грунта были приняты местный грунт из карьера в г. Горловка и грунт с карьера в районе шахты Булавинка г. Енакиево. Для этих образцов были выполнены лабораторные исследования [2]. Полученные физико-механические свойства грунтов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунтов

Материал	Содержание глинистых частиц, %	Средняя влажность грунта при стандартном уплотнении грунта, %	Максимальная плотность, г/см ³	Число пластичности	Вид грунта
Грунт 1 (г. Горловка)	16,8	18,68	1,71	19,01	суглинок легкий
Грунт 2 (г. Енакиево)	49,3	21,14	1,79	28,4	глина тяжелая

В связи с тем, что значения числа пластичности обоих грунтов были завышены, было принято решение привести его в соответствие с требованиями разработчика путем добавления в него отходов дробления гранитного каменного материала. Критерием добавления гранитного отсева является необходимость доведения числа пластичности менее 18 (по требованию разработчика). Физико-механические свойства полученных грунтовых смесей приведены в таблице 2 [2].

Таблица 2 – Физико-механические свойства смеси грунтов

Материал	Содержание глинистых частиц, %	Средняя влажность грунта при стандартном уплотнении грунта, %	Максимальная плотность, г/см ³	Число пластичности
Грунт 1 с отсевом (г. Горловка)	15,12	16,11	1,64	17,41
Грунт 2 с отсевом (г. Енакиево)	33,22	17,93	1,73	17,96

Из этих четырех видов грунта (грунтовой смеси) были изготовлены образцы для испытаний. При изготовлении образцов использовалась вода дистиллированная, в которой предварительно разбавлялся фермент в дозировке 1:500 (нижняя граница количества фермента в воде по рекомендации разработчика).

Испытания образцов проводилось при достижении 72-часового возраста. В результате проведенных испытаний установлено:

- снижение потребности в воде – на 7,6 % для глинистой смеси и 8,3 % для суглинистой смеси (разработчик заявил не менее 25 %), значения для чистой глины и суглинка были ниже [6];
- увеличение коэффициента уплотнения – для глины с 0,95 до 0,98, для суглинка – с 0,96 до 0,98, для глинистой смеси – с 0,97 до 1,02, для суглинистой смеси – с 0,97 до 1,01;
- увеличение предела прочности на сжатие – для глины на 15 %, для суглинка на 13 %, для глинистой смеси на 22 % для суглинистой смеси на 19 % [5].

Требования к стабилизированным грунтам по водонасыщению и водостойкости разработчик не обозначил [5].

Таким образом, полученные результаты практически подтверждают рекомендации и результаты разработчика.

Анализ действующих нормативов [3, 4] в Российской Федерации показывает необходимость соответствия значений параметров набухания образцов, степени гидрофобности, водонасыщения и прочности в водонасыщенном состоянии. Ни один из испытываемых образцов не удалось проверить. Все образцы при затворении (и даже при соприкосновении со свободной водой при определении капиллярного водонасыщения) потеряли форму за сравнительно короткий промежуток времени (от 25 до 47 минут). На поверхности свободной воды наблюдалась характерная для органических жидкостей пленка. Увеличение количества раствора фермента (по верхней границе допустимого количества по рекомендации разработчика – 1:1000) незначительно изменила ситуацию.

ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов исследования четырех составов грунта, стабилизированных водным раствором фермента Perma-Zyme, показывает соответствие заявленным разработчиком характеристикам. Фермент показывает хорошие показатели в области пластификаторов или соответствующих им поверхностно-активных веществ. Но результаты лабораторных исследований показывают невозможность его использования в качестве стабилизатора с местными грунтами из-за активного взаимодействия с водой. В настоящее время ведутся работы по оценке использования фермента Perma-Zyme в качестве комплексного стабилизатора и в качестве материала для комплексного укрепления местных грунтов. Также ведутся работы по составлению имитационной модели в среде Matlab для автоматизированного расчета и подбора составов и технологии стабилизации грунтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rose, W. Soil Stabilization for Road Construction and Natural Liners / W. Rose, G. James. – Anaheim : FNRA, 2002. – 37 p. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик : издание официальное : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 ноября 2015 г. № 1694-ст : взамен ГОСТ 5180-84 : дата введения 2016-04-01 / разработан ОАО «ПНИИИС». – Москва : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2015. – 23 с. – Текст : непосредственный.
3. ОДМ 218.3.076-2016. Методические рекомендации по подбору стабилизаторов грунтов и грунтовых смесей для дорожного строительства : дата введения 2017-04-04. – Москва : Росавтодор, 2017. – 37 с. – Текст : непосредственный.
4. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги = Automobile roads : актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85* : утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 272 : дата введения 2013-07-01 / ЗАО «СоюздорНИИ». – Москва : Изд-во стандартов, – 2013. – 111 с. – Текст : непосредственный.
5. Шилин, И. В. Изучение возможности применения стабилизации супесчаного грунта ферментом Perma-Zyme в Донецкой области / И. В. Шилин, В. В. Абраимов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса : межвуз. сб. науч. статей (с междунар. участием) / ответственный редактор О. М. Батищева. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2021. – С. 83–90.
6. Шилин, И. В. Совершенствование технологии устройства покрытия дорог с низкой интенсивностью движения путем стабилизации супесчаного грунта с водной смесью концентрата PERMA-ZYME / И. В. Шилин, В. В. Абраимов, И. В. Толстиков. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – Выпуск 2021-4(150) Научно-технические достижения студентов строительной-архитектурной отрасли. – С. 83–90. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-4\(150\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-4(150).pdf) (дата публикации: 28.06.2021).

Получена 26.12.2022

Принята 27.01.2023

І. В. ШИЛІН ^a, А. В. ХІМЧЕНКО ^b
ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ
ГРУНТУ ВОДНОЮ СУМІШШО КОНЦЕНТРАТУ PERMA-ZYME ДЛЯ
ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

^a Автомобільно-дорожній інститут ДООУ ВПО «Донецький національний технічний університет», Горлівка; ^b ФДБОУ ВО «Воронезький державний аграрний університет ім. імператора Петра 1», Воронеж

Анотація. Визначено оптимальний склад ґрунтової суміші водним розчином ферменту Perma-Zyme із забезпеченням нормативних вимог для виконання ремонтно-відновлювальних робіт на автомобільних дорогах у регіональних умовах Донецької Народної Республіки. Встановлено, що протягом 72 годин відбувається стабілізація модифікованого ґрунту в щільний композиційний матеріал, який ефективно протистоїть зносу та водопроникності. Розглянуто основні відомості про стабілізацію (зміцнення) ґрунтів у дорожньому будівництві. Наведено основні переваги технології стабілізації ґрунту водним розчином ферменту Perma-Zyme. Наведено основні вимоги до вирішення поставленого завдання. Наведено результати лабораторних досліджень зразків ґрунту та виконано аналіз. Наведено розрахунок складу та обрано технологію обробки ґрунту водним розчином ферменту Perma-Zyme. Наведено лабораторні дослідження сформованих зразків ґрунту, оброблених водним розчином ферменту Perma-Zyme. Виконано аналіз результатів та сформульовано висновки щодо проведеного дослідження.

Ключові слова: ґрунт, фермент Perma-Zyme, дорожнє покриття, стабілізатор, автомобільні дороги з низькою інтенсивністю руху.

IGOR SHILIN ^a, ARKADII KHMICHENKO ^b
ON THE POSSIBILITY OF USING THE TECHNOLOGY OF SOIL
STABILIZATION WITH AN AQUEOUS MIXTURE OF PERMA-ZYME
CONCENTRATE FOR ROAD CONSTRUCTION

^a Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka; ^b Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Voronezh

Abstract. The optimal composition of the soil mixture with an aqueous solution of the Perma-Zyme enzyme was determined with the provision of regulatory requirements for performing repair and restoration work on roads in the regional conditions of the Donetsk People's Republic. It has been established that within 72 hours the modified soil stabilizes into a dense composite material that effectively resists wear and water permeability. The basic information about the stabilization (strengthening) of soils in road construction is considered. The main advantages of soil stabilization technology with an aqueous solution of the Perma-Zyme enzyme are given. The main requirements for solving the problem are given. The results of laboratory studies of soil samples are given and the analysis is carried out. The calculation of the composition is given and the technology of soil treatment with an aqueous solution of the Perma-Zyme enzyme is selected. Laboratory studies of molded soil samples treated with an aqueous solution of the Perma-Zyme enzyme are presented. The analysis of the results was carried out and conclusions on the study were formulated.

Keywords: soil, Perma-Zyme enzyme, pavement, stabilizer, low traffic roads.

Шилин Игорь Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и искусственных сооружений Автомобильно-дорожного института ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», Горловка. Научные интересы: техническое обследование и осмотр инженерных сооружений, организация строительства автомобильных дорог, производственная база дорожного строительства.

Химченко Аркадий Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра 1», Воронеж. Научные интересы: автомобильный транспорт, автомобили, двигатели внутреннего сгорания, эксплуатация и диагностика технических средств автомобильного транспорта, имитационное моделирование сложных технических систем, применение искусственных нейронных сетей.

Шилін Ігор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних шляхів та штучних споруд Автомобільно-дорожнього інституту ДООУ ВПО «Донецький національний технічний університет», Горлівка. Наукові інтереси: технічне обстеження та огляд інженерних споруд, організація будівництва автомобільних доріг, виробнича база дорожнього будівництва.

Хімченко Аркадій Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри сільськогосподарських машин, тракторів та автомобілів ФДБОУ ВО «Воронезький державний аграрний університет ім. імператора Петра 1», Вороніж. Наукові інтереси: автомобільний транспорт, автомобілі, двигуни внутрішнього згоряння, експлуатація та діагностика технічних засобів автомобільного транспорту, імітаційне моделювання складних технічних систем, застосування штучних нейронних мереж.

Shilin Igor – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Automobile Gates and Piece Equipment Department, Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka. Scientific interests: technical inspection and inspection of engineering structures, organization of road construction, production base of road construction.

Khimchenko Arkadii – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Agricultural Machines, Tractors and Automobiles Department, Federal State Budgetary Educational Institutional of Higher Education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Voronezh. Scientific interests: road transport, cars, internal combustion engines, operation and diagnostics of technical means of road transport, simulation of complex technical systems, the use of artificial neural networks.